6 a 8 de outubro de 2010 - Canela RS
ENTAC 2010
XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

PROPOSTA DE MÉTODO PARA POTENCIALIZAR O USO DA VENTILAÇÃO NATURAL

Carla Varela de Albuquerque Araújo (1); Leonardo Jorge B. de Freitas Cunha (2)
(1) Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil – e-mail: carlavarela_arq@yahoo.com.br
(2) Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil – e-mail: leonardo_cunha83@yahoo.com.br

RESUMO
Existem várias ferramentas de análise da ventilação natural com diferentes níveis de complexidade, que vão desde os modelos algébricos simplificados até as simulações computacionais de dinâmica dos fluidos. Estas ferramentas possibilitam a predição do comportamento da ventilação, seja no ambiente externo ou interno e, por isto, seu uso deve ser estimulado desde as primeiras fases do processo projetual de edificações naturalmente condicionadas. A partir da experiência no Grupo de Pesquisa Conforto Ambiental e Eficiência Energética/ UFRN – CNPq constatou-se que os arquitetos e os alunos de graduação são pouco adeptos à utilização de ferramentas de análise da ventilação natural durante o processo de projeto, principalmente as de natureza algébrica. Tanto os arquitetos quanto os alunos costumam representar o comportamento da ventilação nos edifícios e no seu entorno através de vetores, que em muitos casos diferem completamente do que ocorre na realidade e não fornecem dados importantes para avaliar os benefícios da ventilação natural sobre o conforto dos indivíduos. A elaboração destes vetores é baseada na aplicação intuitiva de recomendações generalistas ou ainda em mitos que distorcem os conceitos abordados na bibliografia sobre o tema, mas que infelizmente se proliferam entre os projetistas. O objetivo deste artigo é apresentar um método simplificado para integrar a ventilação natural a todas as etapas do processo projetual, desde as primeiras fases até o detalhamento. A proposta não consiste numa metodologia projetual, que por definição é mais abrangente e complexa, e sim num método simplificado que associa as informações e as ferramentas de análise da ventilação de acordo com o grau de aprofundamento das etapas do processo de elaboração de um projeto arquitetônico.

Palavras-chave: ventilação natural; método simplificado; processo projetual.

1 INTRODUÇÃO

A ventilação natural é a estratégia mais adequada para o resfriamento passivo dos edifícios e para a manutenção da qualidade do ar. A massa de ar no interior dos ambientes deve ser continuamente retirada e substituída por ar fresco de uma fonte externa e limpa para manter a concentração de contaminantes em níveis satisfatórios. A ausência da ventilação dificulta a dissipação do vapor d'água, elevando a umidade do ar e promovendo o surgimento de mofo. Além disto, a renovação do ar é responsável pela dissipação de odores, fumaça, poluentes, vapores, gases e particulados. A ventilação natural também pode ser utilizada no resfriamento da massa edificada e/ou direcionada diretamente sobre os usuários com o objetivo de tornar os ambientes termicamente confortáveis.

Nos sistemas híbridos, a ventilação natural é associada a equipamentos mecânicos, como ventiladores e condicionadores de ar, sendo possível reduzir o consumo de energia quando as condicionantes climáticas são favoráveis, sem prejuízo para a sensação de conforto dos usuários. Deste modo, os sistemas ativos podem trabalhar em uma potência menor, ou até mesmo permanecer desligados quando a demanda por ar fresco puder ser suprida parcialmente ou totalmente pela ventilação natural, inclusive em edifícios comerciais e de serviço (KHAN, et al., 2008).

Para que a ventilação natural ocorra é imprescindível que haja uma força motriz que induza o movimento do ar no interior dos edifícios. Esta força pode ser resultado da pressão dos ventos sobre as fachadas da edificação ou do gradiente de temperatura que promove as correntes convectivas ascensionais. Ambas as forças podem ocorrer simultaneamente, mas, em função das especificidades climáticas, uma delas tende a acontecer com maior ênfase (KLEIVEN, 2003) e deve ser priorizada na elaboração do projeto arquitetônico.

O comportamento da ventilação natural pode ser estimado através de ferramentas de predição, cujo grau de incerteza varia de acordo com a complexidade. A utilização destas ferramentas, isoladas ou em conjunto, ao longo do processo projetual aumenta significativamente a possibilidade de acerto nas decisões tomadas em busca do condicionamento passivo eficaz. Apesar da notória importância, tais ferramentas costumam ser ignoradas durante o desenvolvimento do projeto e o sucesso no uso da ventilação natural fica a cargo do acaso ou da experiência do projetista. Associando a ferramenta mais adequada e ajustando-a de acordo com o grau de aprofundamento de cada fase do processo projetual é possível potencializar o uso da ventilação natural na edificação.

2 OBJETIVO

Este artigo propõe um método que relaciona a ferramenta à etapa em desenvolvimento e apresenta a provável repercussão de sua aplicação no desempenho final da edificação. Esta associação evita que o projetista perca tempo com ferramentas demasiadamente complexas para resolver questões simples ou que tome decisões cruciais com base em critérios superficiais. O método aqui proposto não consiste em uma metodologia projetual, que por definição é mais abrangente e complexa, e sim em um método simplificado que integra as análises das informações de ventilação natural com as etapas pertinentes.

3 VENTILAÇÃO NATURAL

A ventilação natural pode ser classificada como unilateral, cruzada ou decorrente do efeito chaminé, sendo as duas primeiras resultado da incidência do vento sobre as fachadas, enquanto que a última refere-se ao fluxo de ar gerado pelo gradiente vertical de temperatura. A ventilação unilateral ocorre quando as aberturas voltadas para o meio externo, para entrada e exaustão do ar, possuem a mesma orientação ou quando o ambiente apresenta apenas uma abertura para a troca de ar. Neste último caso, a dimensão, a forma e a disposição da abertura na fachada podem melhorar a ventilação do ambiente devido às forças ascensionais provocadas pela diferença de temperatura entre o ar interno e externo. Contudo a ventilação unilateral tende a apresentar baixos valores de renovação do ar e o benefício sobre o conforto torna-se pouco perceptível ao se afastar da abertura (KLEIVEN, 2003).

Na ventilação cruzada, o ambiente possui aberturas voltadas para exterior posicionadas em paredes distintas e o fluxo de ar é induzido pela diferença de pressão que tende a surgir em função da orientação das fachadas a barlavento e a sotavento. A ventilação cruzada pode ser classificada em direta ou indireta, sendo esta última caracterizada pela presença de dois ou mais cômodos dispostos em série, que obrigam o vento a atravessá-los antes de retornar ao meio externo. A perda de carga do escoamento é proporcional à quantidade de ambientes que o vento tem que transpor, e sofre influência também do fracionamento e do tamanho das aberturas, da forma e tipo de esquadria e do *layout* interno. Por fim, a intensidade do fluxo de ar na ventilação cruzada é proporcional à diferença de pressão e a velocidade do vento no meio externo.

O efeito chaminé ocorre devido à variação de densidade resultante do aquecimento do ar no interior da edificação. A massa de ar aquecida tende a se descolar para as porções superiores e o espaço deixado é ocupado por outra massa de ar com menor temperatura. Logo, é possível tirar partido deste movimento para prover a renovação do ar posicionando aberturas para entrada nas zonas próximas ao piso e promovendo a exaustão pela coberta. O efeito chaminé alcança resultados mais expressivos em locais caracterizados por longos períodos de calmaria e quando a diferença de temperatura entre o meio externo e interno é significativa. Portanto esta estratégia é útil para a manutenção da qualidade do ar em locais de clima frio e/ou em ambiente de baixa ocupação e permanência. O efeito chaminé tende a ser pouco eficaz para melhorar a sensação de conforto dos usuários, pois a velocidade da corrente de ar gerada pela diferença de densidade é baixa e, conseqüentemente, não acelera as trocas de calor por convecção e a evaporação da umidade sobre a pele. Assim, para o clima quente e úmido, onde a diferença de temperatura entre o meio interno e externo é pequena e a ventilação é abundante, o efeito chaminé torna-se inexpressivo, pois a pressão exercida pelo vento sobre a fachada é superior à pressão exercida pela diferença de densidade do ar interno.

3.1 Dados de ventilação

A primeira etapa do projeto de uma edificação ventilada naturalmente consiste na coleta de informações sobre o vento, como sua velocidade e direção (CHEN, 2004). Estes dados podem ser obtidos em estações climatológicas, que geralmente estão instaladas em centros de pesquisa, universidades, demais instituições públicas ou em órgãos militares. Todavia, os dados nem sempre são acessíveis, seja por motivos de segurança ou da política institucional, ou são pouco confiáveis, o que ocorre quando o equipamento é utilizado e/ou operacionalizado de maneira inadequada.

Os arquivos climáticos de referência podem ser utilizados para caracterizar a ventilação de determinado sítio na ausência de dados representativos ou confiáveis. Contudo, deve-se considerar a interferência do entorno circundante. Quanto maior o adensamento urbano, maior é a interferência, que pode ser estimada através de medições de campo, testes em túnel de vento ou, até mesmo, por equações que corrigem a velocidade em função das características do sítio. A própria rosa dos ventos, se utilizada de maneira isolada, perde representatividade, visto que desconsidera a interferência da malha urbana.

O comportamento do vento no sítio também pode ser aferido através de medições *in loco*, que permitem conhecer a situação real das variáveis climáticas no local, reduzindo as incertezas pertinentes aos métodos que tratam da correção dos dados climáticos provenientes de estações de referência. Contudo, a aferição exige a prática com o trabalho de campo, com as metodologias de medição, com a utilização dos instrumentos e o discernimento das incertezas envolvidas. Conhecer os padrões diários e sazonais do vento facilita a implantação da edificação de modo a tirar proveito da ventilação predominante nos períodos diurnos e no verão.

4 O PROCESSO PROJETUAL

O processo projetual tem um caráter naturalmente subjetivo por depender das peculiaridades dos projetistas, logo qualquer tentativa de mapeamento acaba sendo desestimulada por ser pouco representativa das inúmeras alternativas possíveis. Segundo Mahfuz (1995) o processo projetual geralmente se inicia a partir de uma fase preliminar, na qual se analisa o problema e informações

disponíveis. A interpretação das variáveis correlatas permite o desenvolvimento das fases posteriores, estabelecendo-se uma escala de prioridades a partir de uma hierarquia definida pelo arquiteto.

O método proposto por Olgyay (1963) para o projeto de residências é um dos pioneiros com o objetivo de inserir princípios de bioclimatologia no decorrer do processo de projeto, listando os dados e ferramentas a serem utilizados de acordo com as metas estabelecidas. Em seu método, Olgyay considera apenas os itens relacionados à bioclimatologia, conforme sintetizados na Tabela 1.

Tabela 1 – Síntese do método proposto por Olgyay.

Metas e objetivos	Dados e ferramentas
Dados climáticos	Temperatura, umidade relativa, ventos dominantes e microclimas
Avaliação	Carta psicrométrica, definição de necessidades/estratégias, grau de importância dos elementos
Métodos de cálculo	Geometria solar, seleção do terreno, orientação, ventos dominantes e materiais
Resultados	Diagramas de máscara de sombra, rosa dos ventos, propriedade dos materiais
Exemplos arquitetônicos	Elementos arquitetônicos existentes (planta, forma e volumetria), soluções de ventilação, arranjos comparativos
Aplicação	Implantação, volumetria e *layout*, síntese comparativa que resulta numa arquitetura regional.

Outros pesquisadores, a exemplo de Szokolay (1984) e Pedrini (2003), procuraram aperfeiçoar esta integração, fazendo uso das etapas propostas pelos teóricos da área de projeto de arquitetura e inserindo as estratégias bioclimáticas nas fases adequadas. O estudo de metodologias de projetação arquitetônica integradas às estratégias bioclimáticas evita que a concepção seja reduzida a um processo de resolução de problemas. Szokolay (1984) afirma que se as questões de energia não são tratadas logo nas primeiras fases de concepção, o projeto final será comprometido.

No que diz respeito à ventilação natural, o que se percebe através da convivência com os arquitetos atuantes no mercado é que eles costumam tratá-la de maneira estática e constante, enquanto que na realidade o vento é uma variável climática de grande variabilidade. Tal grau de pragmatismo decorre da necessidade de gerar soluções rápidas para os problemas projetuais. Deste modo a prática profissional passa a simplificar demasiadamente os métodos de análise e síntese de dados. Os arquitetos alegam que não dispõem de tempo suficiente para a análise ou que há restrições financeiras, legais e de programa para a aplicação de métodos mais elaborados, limitando-se a repetir sistematicamente em seus projetos as recomendações básicas aprendidas no curso de graduação.

A vivência no Grupo de Pesquisa Conforto Ambiental e Eficiência Energética/ UFRN - CNPq [LabCon/ UFRN] permite afirmar que a maior parte dos profissionais domina pouco ou nenhum método para a utilização da ventilação natural. Os mais bem sucedidos se valem dos conhecimentos obtidos empiricamente ao longo da carreira, fruto das tentativas e erros, ou até mesmo da situação privilegiada de cidades que dispõem de ventilação abundante. Este desinteresse por métodos de predição da ventilação natural é percebido também nos alunos concluintes da graduação, que apesar de inseridos no meio acadêmico e de terem cursado as disciplinas de Conforto Ambiental, costumam demonstrar certa rejeição à aplicação de métodos analíticos nos seus trabalhos de conclusão de curso. Assim como os profissionais, os alunos demonstram preferência pela representação gráfica do percurso do vento no entorno e no interior das edificações. No caso da ventilação natural, é corriqueira a representação da ventilação através de vetores, baseados em recomendações ou princípios generalistas e sem a devida reflexão crítica, que em muitos casos podem diferir completamente do comportamento do vento real.

Normalmente a ventilação é utilizada como agente definidor da disposição dos ambientes. Para tanto, considera-se o terreno isolado do meio urbano, a orientação do Norte e a direção predominante do vento regional. Em seguida, é feito um zoneamento no terreno atentando para a disponibilidade de vento, que servirá de base para disposição dos ambientes de acordo com a finalidade: social, serviço ou repouso (Figura 1).

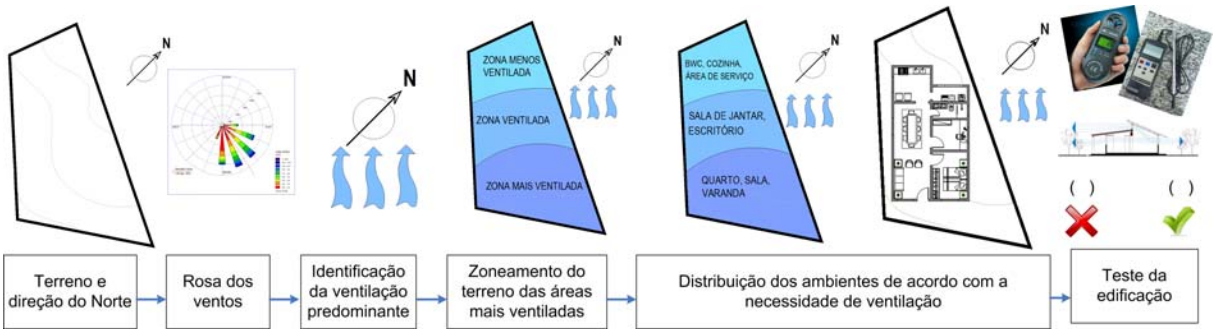


Figura 1 - Síntese da prática usual para contemplação da ventilação natural no processo projetual.

O acúmulo de incertezas decorrente da maneira simplista de tratar a ventilação natural pode implicar em um comportamento do vento na edificação diferente do que foi previsto ou desejado. A análise superficial apresenta limitações, tais como:

(1) desconsidera a interferência da malha urbana e do entorno imediato ao tratar do terreno isoladamente; (2) utiliza apenas a direção predominante como critério, sem atentar para a variação da orientação e da velocidade; (3) não considera a disponibilidade do vento nas épocas do ano e nos horários adequados; (4) desconsidera a interferência no comportamento do vento local decorrente da própria edificação; (5) a avaliação do desempenho ocorre apenas no final do processo, com a edificação já construída, onde a possibilidade de intervenção é praticamente nula.

Além da pouca difusão dos métodos quantitativos, é forte a crença em mitos pouco embasados ou eficazes sobre a ventilação. Os mitos resultam de simplificações equivocadas da teoria e costumam ser repassados informalmente entre os profissionais que preferem o pragmatismo em detrimento das soluções resultantes do processo de análise e síntese. Nota-se que alguns mitos encontram tamanha aceitação que passam a ser considerados premissas para desempenho adequado da ventilação. Um dos mitos mais difundidos entre os projetistas locais trata da disposição de aberturas de saída maiores do que as de entrada, com o objetivo de garantir ventilação satisfatória. Examinando com um pouco de atenção, percebe-se que a afirmação é bastante genérica, pois não informa sobre a proporção entre as áreas das aberturas e destas com a área de piso ou de fachada.

Considerando a dinâmica do fenômeno e a orientação das aberturas é provável que as funções de entrada e saída se alternem ao longo do dia ou em épocas específicas do ano. A afirmação desconsidera também a possibilidade de controle, visto que o vão livre para a passagem do vento pode ser regulado pela esquadria, gerando diferentes relações entre a área disponível para entrada e saída do ar. Por fim, não fica claro qual o benefício obtido através da aplicação desta recomendação: se corresponde a um incremento na velocidade, na distribuição interna do ar ou na redução da temperatura. Todavia, deve-se considerar que a ausência de recomendações consistentes e aplicáveis ao processo projetual favorece a difusão e aceitação de tais mitos.

5 FERRAMENTAS DE ANÁLISE

A ventilação natural de uma edificação pode ser estimada por diferentes ferramentas de predição. Dentre as mais recorrentes na bibliografia, destacam-se quatro ferramentas com grau de incerteza e complexidade específicos. São elas: os modelos algébricos, os modelos empíricos, as medições *in loco* e as simulações em CFD. O modelo algébrico é tido como o método mais tradicional para predição do desempenho da ventilação. Este método ainda é amplamente utilizado em virtude do embasamento teórico do fenômeno físico e da baixa necessidade de recursos computacionais. Porém, tais modelos tendem a apresentar um grau de incerteza considerável, principalmente quando aplicados em situações complexas. Desta maneira, são mais indicados para os casos de baixa complexidade e com o objetivo de estimar a ordem de grandeza das variáveis.

Os modelos empíricos baseiam-se em experimentos, em medições ou em simulações para estimar os coeficientes presentes nas equações dos modelos algébricos, simplificando-as. Desta maneira, os

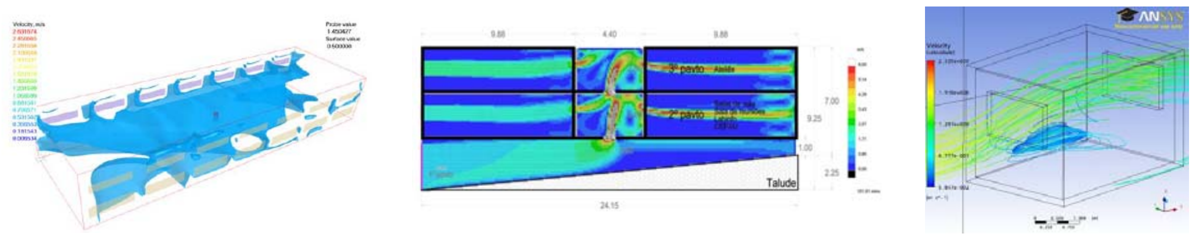
modelos empíricos não diferem muito dos algébricos, ou seja, funcionam bem para os casos específicos dos quais são resultantes, porém, apresentam aplicabilidade reduzida. Mesmo com as limitações pertinentes, os modelos empíricos são comumente adotados por manuais técnicos, pois representam economia de tempo e de custo, com razoável grau de precisão.

Os experimentos em túneis de vento com modelos em escala reduzida apresentam resultados bem próximos ao que acontece na realidade, principalmente quando as forças ascensionais geradas pelo gradiente térmico são insignificantes. Quando há fenômenos térmicos envolvidos, os testes em túnel de vento tornam-se inapropriados, tendo em vista que a redução de escala dificilmente interfere nos parâmetros adimensionais pertinentes aos casos reais, tais como os números de Reynolds, de Grashof e de Prandtl. Há maneiras de simular os efeitos da convecção, mas isto implica, geralmente, na adoção de fluidos de densidade diferente da do ar. Os resultados obtidos em estudos experimentais são utilizados na calibração e validação de modelos matemáticos que compõem os códigos de CFD. Contudo, a utilização de túneis de vento apresenta questões de custo e de tempo a serem consideradas (CHEN, 2004).

As medições *in loco* ou em laboratório com modelos em escala real são utilizadas na aferição do desempenho da ventilação, com a vantagem de apresentar resultados mais precisos em relação aos obtidos com modelos em escala reduzida. Tais medições tornam-se imprescindíveis quando a variabilidade climática precisa ser considerada. Nas medições *in loco*, o controle das características do fluido é praticamente impossível, por isso se faz necessário a realização de medições em dias e horários distintos, para que os dados não resultem de condições climáticas adversas. A confecção de modelos em escala real implica em um custo elevando e a confiabilidade os dados medidos depende da qualidade do equipamento de medição utilizado, da manutenção e da experiência do operador.

A dinâmica computacional de fluidos, mais conhecida pela sigla em inglês CFD, vem sendo utilizada desde a década de 1960 para solucionar problemas de dinâmica dos fluidos e processos de transferência de calor em diversas áreas, dentre elas a arquitetura. Os softwares de CFD resolvem numericamente as equações de Navier-Stokes de conservação de massa, momento e energia, permitindo avaliar qualitativamente a distribuição do fluxo de ar, apesar de algumas divergências numéricas entre fluxo real e o fluxo simulado. Na arquitetura, as simulações em CFD podem ser utilizadas para a análise da qualidade do ar, da ventilação natural e artificial, dos sistemas de exaustão e dos riscos de incêndio. No meio urbano o foco normalmente é sobre a contribuição da ventilação na remoção de poluentes e na previsão de conforto para os usuários.

Há diversos softwares comerciais de CFD, dentre os quais três deles se destacam pela freqüência de citações na bibliografia sobre o tema, são eles: o PHOENICS, o TAS Ambiens e o ANSYS CF-x. O PHOENICS (CHAM, 2005) e o ANSYS CF-x (ANSYS, 2006) são softwares abrangentes que se propõem a resolver qualquer problema que envolva a dinâmica de fluidos. Contudo a utilização deles pelos pesquisadores do LabCon/ UFRN mostrou que ambos carecem de operadores especialistas em mecânica dos fluidos, apresentam dificuldade na determinação da malha e de convergência e exigiram um elevado grau de simplificação da geometria modelada. O TAS Ambiens (EDSL, 2001) simula exclusivamente o comportamento da ventilação no ambiente interno. As maiores virtudes do TAS Ambiens são: o tempo de simulação, a robustez e ausência de pré-configurações. Todavia, a modelagem é apenas em duas dimensões e bastante limitada, não permitindo a locação de elementos que não estejam adjacentes aos limites do domínio.



(a) (b) (c)

Figura 2 – Resultados de simulações: (a) PHOENICS, (b) TAS e (c) ANSYS - CFx. Fonte. (TRINDADE, et al., 2007); (ARAÚJO, et al., 2008); (CUNHA, 2010), respectivamente.

6 PROPOSTA DE MÉTODO

A revisão sobre o tema permitiu traçar uma proposta de compatibilização das etapas do processo projetual com as recomendações e as ferramentas correspondentes para potencializar o uso da ventilação natural, distribuídas de acordo com o grau de aprofundamento das etapas (Figura 3). O objetivo desta proposta é mostrar que o desenvolvimento do projeto exige instrumentos compatíveis para atingir os propósitos de cada etapa.

A proposta parte da escala macro, representada pelo meio urbano, e segue em direção à escala micro, que corresponde aos ambientes da edificação. A primeira fase do processo trata do programa de necessidades, onde são conhecidos o terreno e sua localização no meio urbano. O foco desta etapa inicial recai sobre o vento regional e local com o objetivo de caracterizar o comportamento da ventilação, identificar as interferências do entorno, as zonas a barlavento, a sotavento e os períodos de calmaria. Para tanto, sugere-se o uso da rosa dos ventos, dos dados climáticos, de medições no local e, em casos específicos, a simulação computacional do vento regional.

A fase seguinte, denominada esboço trata da delineação da forma e da orientação da edificação, cuja interação com as variáveis climáticas é determinante para o desempenho da ventilação, pois possuem forte relação com a distribuição de pressão nas fachadas. Tanto a orientação quanto a forma podem ser ajustadas com base no coeficiente de pressão, obtido através de tabelas, gráficos, equações simplificadas ou até mesmo da simulação computacional. Além da forma, as aberturas e os demais elementos da envoltória que interferem na captação do vento costumam ser definidos nesta fase. O correto dimensionamento e orientação destes elementos podem favorecer a diferença de pressão sobre as aberturas, estimulando a ventilação nos ambientes.

Após a conclusão da fase de esboço, parte-se para o detalhamento do projeto, através da elaboração dos desenhos técnicos necessários à aprovação legal e a execução da obra. Esta fase é marcada pelo dimensionamento e locação de todos os elementos que compõem a edificação. A área livre na envoltória para a passagem do vento, resultante do dimensionamento das aberturas, é um fator determinante na renovação do ar interno. Normalmente, o dimensionamento é resultado das especificações de área mínima contidas nos Códigos de Obra, porém, nem sempre tais especificações são suficientes para dimensionar aberturas capazes de proporcionar a ventilação adequada. Ao invés de considerar as dimensões mínimas, o dimensionamento deveria contemplar a necessidade de conforto térmico dos usuários e a disponibilidade de vento local. O cálculo de vazão de ar e a simulação computacional podem ser utilizados com o objetivo de dimensionar aberturas compatíveis com o uso e ocupação do ambiente.

Enquanto que o dimensionamento do vão livre tem relação com a taxa de renovação, a posição da abertura na fachada condiciona a distribuição do ar no ambiente. Aberturas posicionadas no nível do usuário favorecem a circulação de ar em torno do indivíduo e facilitam a troca de calor, o que é bastante benéfico quando a temperatura do ar é inferior à temperatura do corpo humano. Além da troca de calor, a evaporação da umidade da pele induzida pelo fluxo de ar aumenta a sensação de conforto. Todavia, quando a temperatura do ar que adentra o ambiente encontra-se fora dos limites estabelecidos pela zona de conforto, o mesmo não deve ser direcionado sobre os ocupantes. Nestes casos as aberturas devem ser posicionadas acima dos usuários, de modo a permitir a renovação do ar, sem que o fluxo seja direcionado para o nível dos usuários.

Considerando a dinâmica dos ventos, é interessante a adoção de esquadrias que permitam o controle da vazão de ar e o direcionamento do fluxo para as diferentes porções do ambiente, conforme as atividades desenvolvidas e o *layout* interno. As esquadrias convencionais normalmente não dispõem destes mecanismos de controle, limitando-se aos de abertura. Todavia, tais mecanismos só são eficazes quando os usuários têm interesse e disposição para operá-los e assim ajustar as condições ambientais internas de acordo com suas necessidades e a variabilidade climática. A interação do usuário com a edificação, prevista nos modelos adaptativos, é fundamental para satisfazer as necessidades de conforto em ambientes condicionados passivamente. Quando há vento abundante e a envoltória é protegida da radiação solar direta, é possível reduzir o nível de sofisticação da esquadria. Neste caso, o mais importante é prover área suficiente para captação e exaustão do ar e favorecer a circulação do vento em torno dos usuários.

A última etapa do processo consiste na avaliação final do projeto para averiguar se os quesitos necessários para prover ventilação adequada foram atendidos. A verificação pode ser realizada através de um *check-list*, de um ensaio em túnel de vento ou por meio da simulação computacional. A avaliação final pode ser voluntária, com o objetivo de divulgar o desempenho da edificação, ou ser obrigatória quando a legislação exige a classificação de acordo com os selos de desempenho.

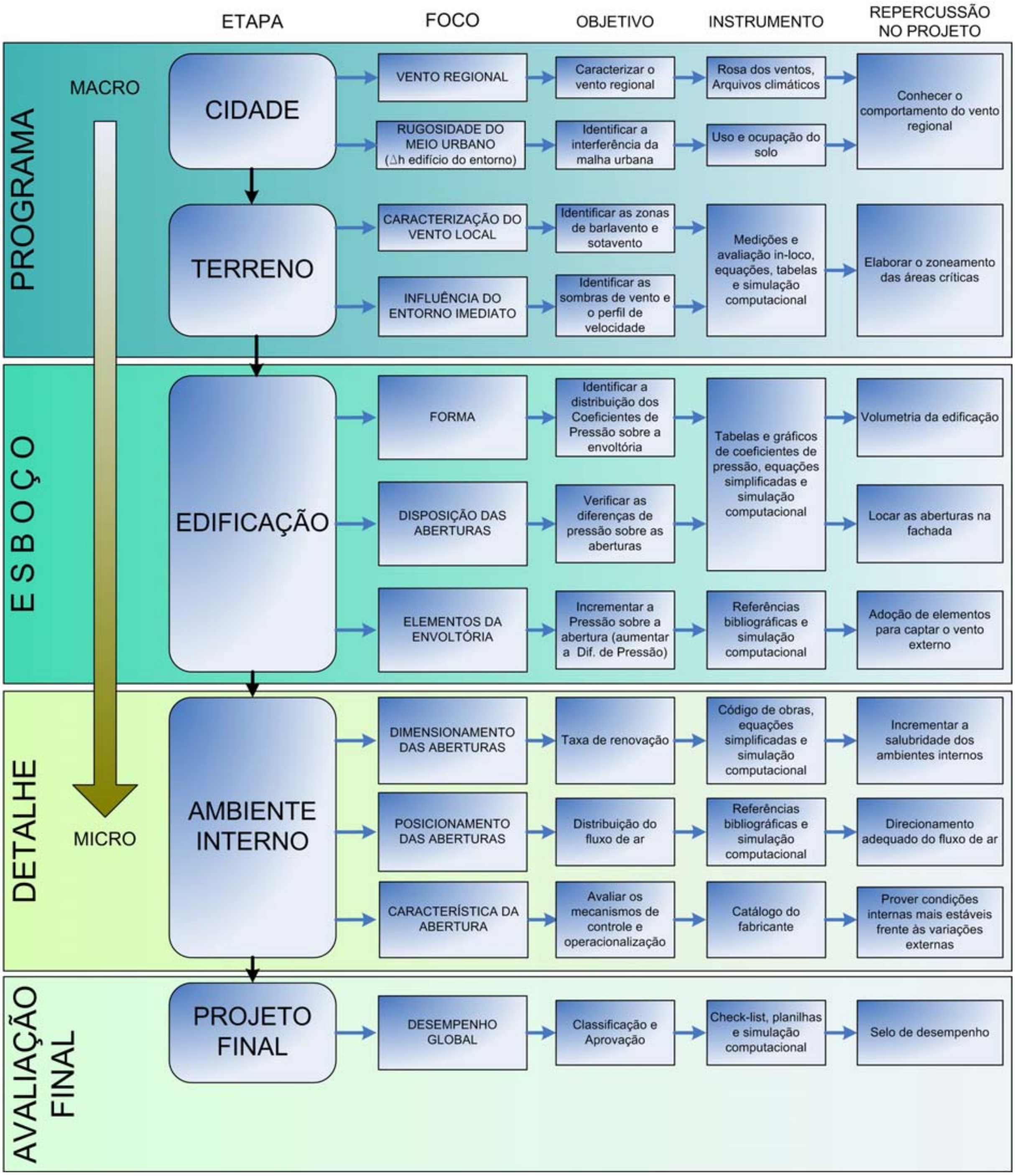


Figura 3 – Proposta de integração da ventilação ao processo projetual.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A escolha da ferramenta a ser utilizada deve considerar as limitações e as incertezas envolvidas. A análise crítica dos dados disponíveis é imprescindível para minimizar conclusões equivocadas na tomada de decisões. Não é necessário utilizar todas as ferramentas para propor edificações adequadas.

A quantidade de ferramentas e o grau de aprofundamento depende da complexidade da forma das edificações, do entorno e das especificidades climáticas. Além disto, ferramentas que condensam muita informação exigem atenção para que não seja dada demasiada preferência para alguma das variáveis em detrimento das demais.

O uso de programas de simulação computacional durante o desenvolvimento do projeto permite a utilização adequada das estratégias arquitetônicas, bem como avaliar o impacto das decisões tomadas no desempenho da ventilação natural. Todavia, os custos de aquisição, o aprendizado, a operação, a seleção das variáveis baseada nos conceitos de mecânica dos fluidos e o tempo de simulação inviabilizam a difusão do CFD nos escritórios de arquitetura, principalmente os de pequeno e médio porte. Contudo, acredita-se que a contínua melhoria na interface, o desenvolvimento de novas plataformas e a redução dos custos de aquisição favorecerão a disseminação da simulação como ferramenta de análise da ventilação aplicável à prática projetual.

A vantagem do CFD, frente às demais ferramentas, é a determinação dos campos de velocidade, de pressão, de temperatura e de concentração de poluentes em todo o ambiente. O grau de incerteza das predições depende da qualidade dos dados de entrada e das considerações adotadas pelo operador. A união da simulação de CFD e de desempenho termo-energético incrementa substancialmente a representação do fenômeno real (CHEN, 2008).

Por fim é importante salientar que a aplicação das ferramentas devem ser estimuladas principalmente nas primeiras fases do processo projetual, pois é na fase de esboço onde as estratégias bioclimáticas são concebidas e ajustadas, e onde a seleção de alternativas adequadas tem maior peso no desempenho final. A possibilidade de testar modelos simplificados referentes aos esboços desenvolvidos em programas de simulação computacional permite quantificar o benefício das alternativas possíveis, dando argumentos consistentes ao projetista para investir nos elementos com maior repercussão no resultado final.

8 REFERÊNCIAS

ANSYS. **Ansys Cfx Release 11.0 Tutorial: ANSYS CFX**. 2006.

ARAÚJO, C. V. D. A., et al. **Influência de condicionantes ambientais no projeto de um edifício de ensino de Arquitetura e Urbanismo localizado em clima quente e úmido**. XII Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído (ENTAC). Fortaleza. In: Anais do XII Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído (ENTAC) Fortaleza: 2008. p.

CHAM. **Phoenics** London, 2005.

CHEN, Q. **Ventilation performance prediction for buildings: A method overview and recent applications**. In: Building and Environment. 1-11, 2008.

CHEN, Q. Y. Using computational tools to factor wind into architectural environment design. **Energy and Buildings.** 36, 1197-1209, October 2003, 2004.

CUNHA, L. J. B. D. F. **Análise de métodos para aplicação de ventilação natural para projeto de edificações em Natal-RN**. 2010. p. (Dissertação de Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

EDSL. **Developers of Tas**. 2001. Disponivel em: <http://ourworld.compuserve.com/homepages/edsl/>. Acesso em: July.

KHAN, N., et al. A review on wind driven ventilation techniques. **Energy and Buildings.** 40, 1586-1604, February 2008, 2008.

KLEIVEN, T. **Natural ventilation in buildings: architectural concepts, consequences and possibilities**. 2003. 305 p. (Tese de doutorado) - Department of Architectural Design, History and Technology, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, 2003.

MAHFUZ, E. **Ensaio sobre a razão compositiva.**: Belo Horizonte: UFV/AP Cultural, 1995. p.

OLGYAY, V. **Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism**: Princeton, N.J.: Princeton University Press, 1963. 190 p. p.

PEDRINI, A. **Integration of low energy strategies to the early stages of design process of office buildings in warm climate**. 2003. 300 p. p. (Tese de doutorado) - Department of Architecture, University of Queensland, Brisbane, 2003.

SZOKOLAY, S. V. **Energetics in Design**. PLEA'84 - The Third International PLEA Conference. Mexico. In: Anais do PLEA'84 - The Third International PLEA Conference Mexico: **Pergamon Press**, 1984. 1000-1006 p.

TRINDADE, S. C., et al. **Representatividade das condições de contorno para simulações da ventilação natural em CFD**. IX Encontro Nacional e V Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído (ENCAC - ELACAC). Ouro Preto. In: Anais do IX Encontro Nacional e V Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído (ENCAC - ELACAC) Ouro Preto: 2007. 1877 - 1886 p.

9 AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à CAPES pela concessão da bolsa de estudo que viabilizou a elaboração da dissertação que contribuiu para este artigo, e ao CNPq pelo financiamento do Projeto de Pesquisa “Aplicação da Simulação Computacional de Fluidos no Suporte às Decisões Projetuais Arquitetônicas para Aplicação da Ventilação Natural no Ambiente Construído”, coordenado pelo Professor Dr. Aldomar Pedrini, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte.